In the name of Allah, the Most Gracious, the Most Merciful













بسم الله الرحمن الرحيم وبه نستعين

2. Rayonnement X.

2.1 Introduction.

Les **rayons X** sont une forme de rayonnement électromagnétique à haute fréquence constitué de photons dont la longueur d'onde est comprise approximativement entre 0,1 Angström et 100 Angström (10^{-11} m et 10^{-8} m), correspondant à des fréquences de (**3×10^{16} Hz à 3×10^{19} Hz**).

L'énergie de ces photons va de quelques eV (électron-volt), à plusieurs dizaines de MeV. C'est un rayonnement ionisant utilisé dans de nombreuses applications dont l'imagerie médicale (radiographie conventionnelle) et la cristallographie.

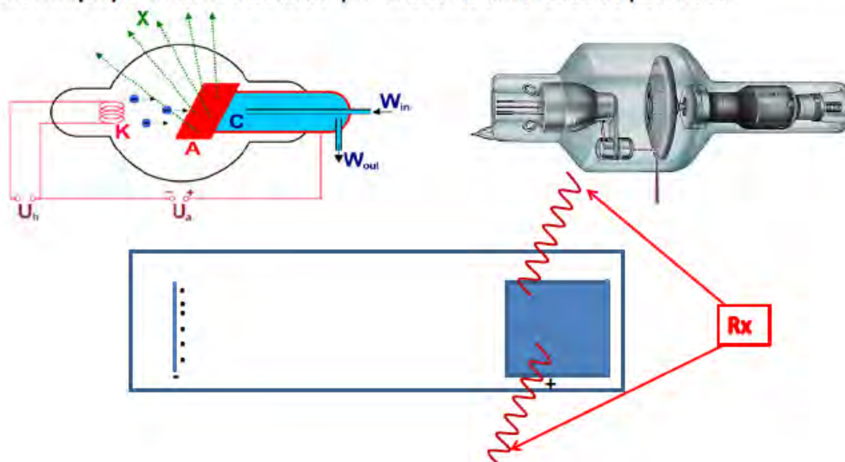
Les rayons X ont été découverts en 1895 par le physicien allemand Wilhelm Röntgen, qui a reçu pour cela le premier prix Nobel de physique ; il lui donna le nom habituel de l'inconnue en mathématiques, X.

Les rayons X et les rayons gamma sont de même nature, mais sont produits différemment : les rayons X sont produits par des transitions électroniques alors que les rayons gamma sont produits lors de la désintégration radioactive des noyaux des atomes ou d'autres processus nucléaires ou subatomiques.

2.2 Description du tube de COOLIDGE.

Les rayonnements X sont des rayonnements **électromagnétiques de très courte longueur** d'onde et donc **très pénétrants**.

Dans un **tube à rayons X, l'émission de ces rayonnements est obtenue en bombardant une** cible appelée **anode par un faisceau d'électrons accélérés dans le vide. Ces électrons sont** obtenus en chauffant un filament appelé **cathode (effet thermique) et ils sont accélérés** par une forte différence de potentiel.



Le **bombardement** de la cible provoque **d'une part**, un échauffement de la cible et d'autre part l'émission d'un rayonnement électromagnétique (X). **L'augmentation de la température** de l'anticathode, **nécessite** soit un fonctionnement intermittent, soit un refroidissement (circulation d'eau).

L'interaction des électrons rapides avec la matière se traduit par un **ralentissement des électrons**, et **l'énergie cinétique** perdue se manifeste sous **différentes formes**.

Une fraction importante de cette énergie (99 %) est convertie en **chaleur et augmente l'énergie interne de la substance**. Le reste (1%) est **rayonné hors de la substance sous forme de photons X.**

2.3 Mécanisme d'interaction.

Lorsque les électrons ainsi accélérés **percutent** une cible matérielle, il y a **perte d'énergie** des électrons incidents, et **émission de rayonnements X**.

Deux types d'interaction se produisent à l'intérieur de la matière cible:

- Une Interaction avec le champ électrique du noyau de l'atome.
- Ou une collision avec les électrons de l'atome.

2.3.1 Mécanisme d'interaction avec le noyau de l'atome cible.

Quand l'électron passe à proximité du noyau, il est attiré par la charge positive nucléaire, et sa trajectoire est modifiée. Soumis alors à une accélération centripète intense, il rayonne de l'énergie sous forme d'un photon et se trouve finalement ralenti.

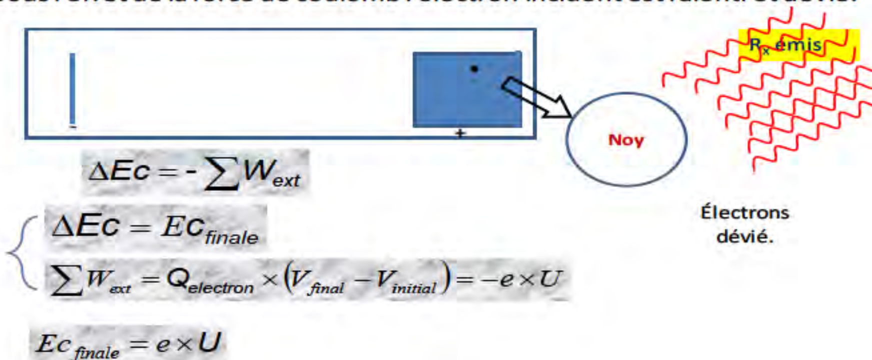
Le rayonnement émis est appelé **rayonnement de freinage ou "Bremsstrahlung«**. Cet échange d'énergie dépend de la distance à laquelle l'électron incident passe du noyau.

Les photons de freinage peuvent prendre toutes les valeurs énergétiques comprises entre 0 (passage à grande distance) et l'énergie des électrons incidents E_0 (passage à proximité).

Les photons de faible énergie sont beaucoup plus nombreux que les très énergétiques car la probabilité pour un électron incident de passer à distance du noyau est très grande.

Les interactions électrons-matière produisent plus de chaleur que de rayons X eux mêmes.

Sous l'effet de la force de coulomb l'électron incident est ralenti et dévié.



$$\Delta Ec = -\sum W_{ext}$$

$$\begin{cases} \Delta Ec = Ec_{finale} \\ \sum W_{ext} = Q_{electron} \times (V_{final} - V_{initial}) = -e \times U \end{cases}$$

$$Ec_{finale} = e \times U$$

$$E_{R_x}^{Max} = E_0 = Ec_{finale} = e \times U$$

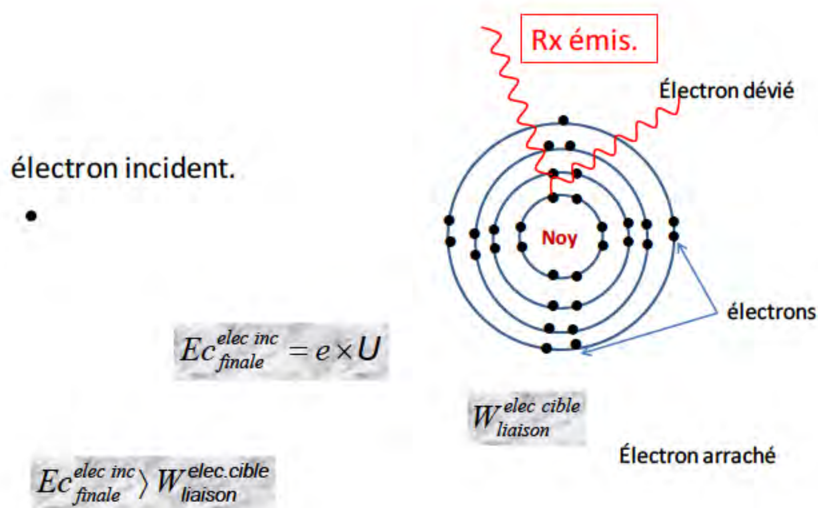
2.3.2 Mécanisme d'interaction avec les électrons de l'atome cible.

L'électron incident **très accéléré** entre en **"collision"** avec l'un des électrons du cortège électronique et lui transfère de l'énergie. Il s'agit en fait d'une interaction entre champs électriques et toutes les possibilités d'interactions existent entre le "choc frontal" et le "choc très éloigné" de type tangentiel.

Le transfert d'énergie à l'électron cible est **maximum** en cas de choc frontal, mais cette possibilité est rare.

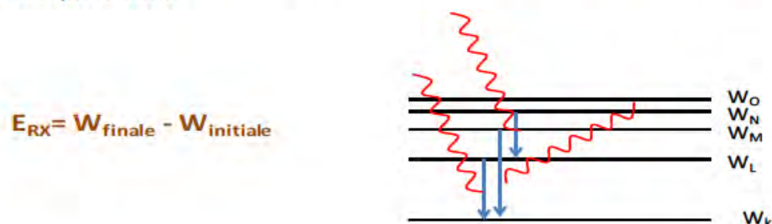
L'électron incident change de vitesse et de trajectoire et l'électron percuté est éjecté.

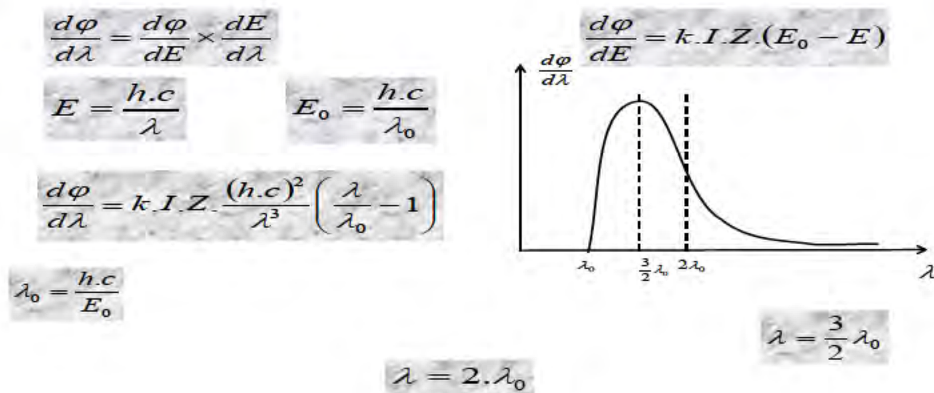
Selon l'importance de **l'énergie transférée** et selon **l'énergie de liaison** de l'électron cible, il en résulte une **ionisation ou une excitation.**



Le retour à l'état fondamental se produit par des transitions électroniques vers les couches les plus internes.

Chaque transfert s'accompagne d'une **émission de photon** dont l'énergie **E** est égale à la différence entres les énergies de liaison des niveaux électroniques. c.à.d.





2.3.3.2 Le spectre discret, ou spectre de raies.

Un état électronique est défini par ses nombres quantique:

n: nombre quantique principal, quantifie l'énergie totale de l'électron (n>0).

L: nombre quantique secondaire, quantifie le moment cinétique orbital de l'électron (L < n).

m: nombre quantique magnétique (- L < m < + L).

s: nombre de spin (s = ± 1/2), quantifie le moment cinétique propre de l'électron.

J = |L+s| : est le nombre quantique qui quantifie le moment cinétique totale de l'électron

Les électrons sont répartis par ordre d'énergie croissante en couches K, L, M, N, ..., correspondant au nombre quantique principal.

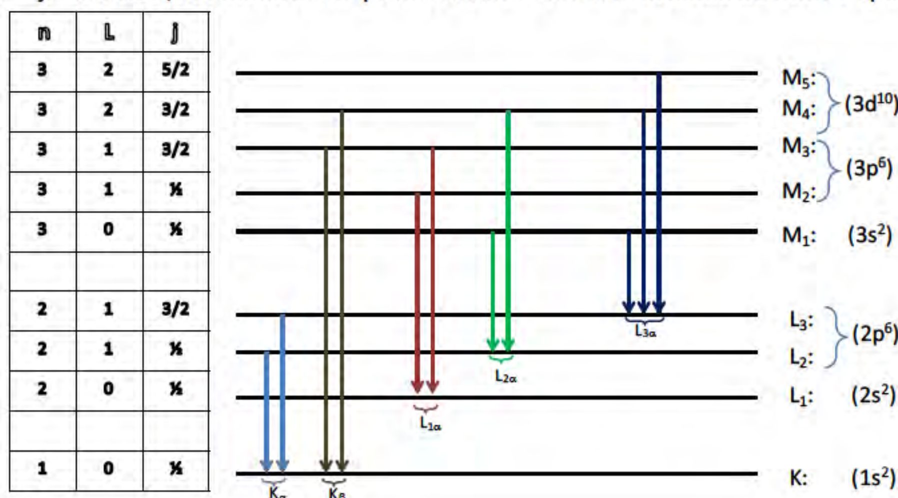
Chaque couche comprend différentes sous-couches d'énergies voisines correspondant aux autres nombres quantiques.

Les niveaux énergétiques des couches et sous-couches sont caractéristiques de chaque élément.

Lors d'une transition électronique, la conservation du moment cinétique impose certaines règles (conditions) sur les nombres quantiques.

Les règles de transitions sont:

- $\Delta n > 0$, un électron ne peut transiter dans une même couche principale.
- $\Delta L = \pm 1$, un électron ne peut transiter d'une orbitale vers une autre orbitale de même nature.
- $\Delta j = 0$ ou ± 1, un électron ne peut transiter vers une orbitale de même spin



n	L	J
3	2	5/2
3	2	3/2
3	1	3/2
3	1	½
3	0	½
2	1	3/2
2	1	½
2	0	½
1	0	½

Un électron incident d'énergie E_{cin} peut expulser un électron d'un atome de la cible dont l'énergie de liaison est plus petite que E_{cin} , créant ainsi un trou dans une couche.

L'atome se trouve alors dans un état excité instable et tend à retourner dans son état fondamental. Le « trou » est alors comblé par un électron d'une couche supérieure, dont l'excès d'énergie est émis sous forme d'un photon.

L'énergie E des photons émis est égale à la différence des énergies des couches concernées. Le spectre des photons émis est ainsi un spectre discret de raies, les fréquences correspondantes étant données par **E = h.f**

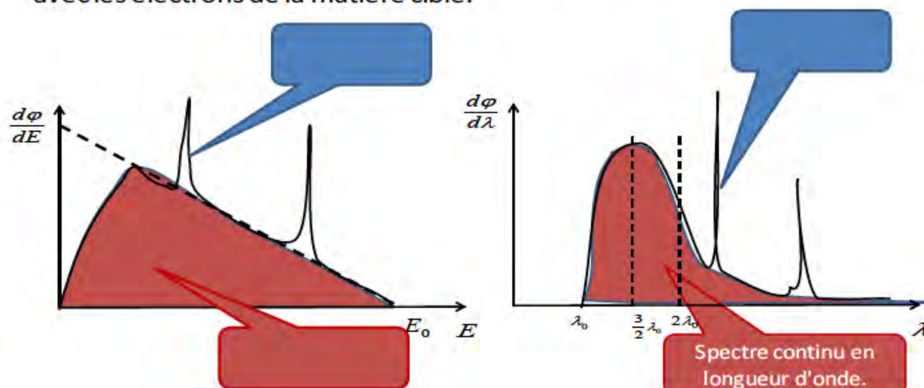
Les photons émis seront donc situés dans la gamme du rayonnement X si la cible est constituée d'atomes suffisamment lourds et si l'électron éjecté appartient à une couche interne.

Si un photon X émis expulse un électron de la matière cible, ce dernier est appelé un électron AUGER.

2.3.3.3 Le spectre global du Rx émis.

Le spectre global du Rx émis est l'ensemble de tous les photons X émis de l'interactions des électrons avec la matière cible.

Il est composé d'un spectre continu, interaction des électrons avec le noyau cible. Et d'un spectre discontinu, interaction de l'électron incident avec les électrons de la matière cible.



$$P_{electr} = U.I$$

$$P_{chaleur} = \frac{m.c.\Delta\theta}{\Delta t}$$

$$\phi_{rayonnee} = \int \frac{d\phi}{dE}.dE = \frac{1}{2}k.I.Z.E_0^2$$

$$P_{electr} = \Phi_{rayonnee} + P_{chaleur}$$

$$r = \frac{\Phi_{ray}}{P_{electr}}$$